



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

PCT/IB 03/01217

09.05.03

REC'D 16 MAY 2003

WIPO

PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02076280.3

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE,
LA HAYE, LE

27/03/03

BEST AVAILABLE COPY



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 02076280.3

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt: 28/03/02

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
Koninklijke Philips Electronics N.V.
5621 BA Eindhoven
NETHERLANDS

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
NO TITLE

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

/

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing:
Etats contractants désignés lors du dépôt:

AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

SEE FOR ORIGINAL TITLE PAGE 1 OF THE DESCRIPTION

Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden en elektronische inrichting

EPO - DG 1
28 03. 2002
(72)

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden omvattende de stappen van:

- het aanbrengen van een patroonmatig etsmasker aan een oppervlak van een halfgeleidersubstraat,
- 5 - het etsen van het halfgeleidersubstraat onder vorming van nanodraden in een richting substantieel loodrecht op het oppervlak van het halfgeleidersubstraat, en
- het verwijderen van de nanodraden van het halfgeleidersubstraat.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een nanodraad.

- 10 De uitvinding heeft verder betrekking op een elektronische inrichting voorzien van een eerste en een tweede elektrode die onderling verbonden zijn via een of meer nanodraden.

15 Nanodraden zijn draden van een veelal halfgeleidend materiaal met een diameter van minder dan 100 nm. Ze worden beschouwd als bouwstenen voor toekomstige elektronische en optoelektronische elementen. De nanodraden hebben als voordeel dat dimensionele beperkingen tengevolge van het fotolithografisch patroneren minder relevant worden. Bovendien hebben de nanodraden andere eigenschappen dan eenheden van hetzelfde materiaal van grotere dimensies vanwege quantisatie-effecten, zoals een niet-ohmse weerstand.

20 Een werkwijze als in de aanhef omschreven is bekend uit Liu et al., *J.Vac.Sci.Technol.B*, 11 (1993), 2532-2537. In de bekende werkwijze wordt met behulp van e-beam lithografie een patroon gedefinieerd in een etsmasker. Dat patroon wordt met behulp van reactive ion etching overgebracht op het halfgeleidersubstraat. Aangezien het patroon geïsoleerde gebieden definieert, welke door het etsmasker beschermd worden tegen het etsen, 25 ontstaan uit het halfgeleidersubstraat nanodraden. Deze nanodraden hebben een diameter van 60 nm en een lengte van 10 μm . Vervolgens worden de schillen van de nanodraden door verhitting tot 800 °C geoxideerd. Daarna worden de schillen door etsen in een bad van HF verwijderd en resteren nanodraden met een diameter van 6-15 nanometer.

Het is een nadeel van de werkwijze, dat de gevormde draden geen functionaliteit bevatten.

Het is een eerste doel van de uitvinding om een werkwijze te verschaffen, waarmee dergelijke nanodraden verkrijgbaar zijn.

5 Dit eerste doel is daardoor bereikt dat het halfgeleidersubstraat een eerste laag van een eerste materiaal en een tweede laag van een tweede materiaal bevat, welke lagen aan elkaar grenzen; en ter vorming van de nanodraden door de eerste en de tweede laag geëetst wordt, zodanig de nanodraden een eerste gebied van het eerste materiaal en een tweede gebied van het tweede materiaal bevatten.

10 Met de werkwijze volgens de uitvinding kunnen nanodraden met één of meer inwendige overgangen - in axiale richting langs de nanodraad - gevormd worden. Een geschikte inbouw van dergelijke inwendige overgangen levert nanodraden op, die voor meer geschikt zijn dan slechts als kanaal van een transistor te functioneren. Dergelijke nanodraden kunnen onder meer licht kunnen emitteren, als hoogfrequente gelijkrichter dienen, als
15 quantum-dot geheugens vormen. Zij zijn per se bekend uit Gudliksen et al, *Nature*, 415 (2002), 617-620.

Het is een eerste voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding, dat de werkwijze zeer eenvoudig is en geschikt is voor massafabricage. De gewenste variaties in materiaal zijn in te bouwen in of aan te brengen op het halfgeleidersubstraat, voordat de
20 nanodraden door etsen vervaardigd worden. Uit een enkel halfgeleidersubstraat van 150 mm kunnen vervolgens enkele miljarden nanodraden gehaald worden.

Het is een tweede voordeel van de werkwijze volgens de uitvinding, dat de overgang van het eerste naar het tweede gebied in de verkregen nanodraden zeer scherp is. Dat is bijvoorbeeld van belang wanneer de overgang een p-n junctie is, en/of wanneer
25 electroluminescentie gewenst is.

Het eerste materiaal kan van het tweede materiaal in een aantal opzichten verschillen. In een eerste uitvoeringsvorm bevatten het eerste en het tweede materiaal eenzelfde halfgeleider maar een verschillende dotering. Dit leidt tot inwendige pn-juncties, of indien gewenst pnp-juncties. In een tweede uitvoeringsvorm heeft het tweede materiaal een
30 andere bandgap dan het eerste materiaal. Voorbeelden zijn overgangen van Si naar SiGe, SiC of ternaire of quaternaire verbindingen, junctions van InP en InAs, van GaAs en GaN of GaP, en andere III-V, II-VI materialen. In een derde uitvoeringsvorm is het eerste materiaal metallisch en het tweede materiaal halfgeleidend.

De eerste en in het bijzonder tweede laag van het substraat kunnen op verscheidene wijzen gevormd worden. Wanneer het eerste materiaal van het tweede materiaal verschil in de dotering kunnen zogenoemde delta-doteringen worden aangebracht.

Anderszins kan het zijn dat de eerste en de tweede laag onafhankelijk gevormd zijn en
5 vervolgens verbonden worden. Dergelijke verbindingstechnieken zijn onder meer bekend voor de vervaardiging van SOI-type substraten.

In een verdere uitvoeringsvorm wordt de tweede gevormd door epitaxiale groei van het tweede materiaal op de eerste laag. Een dergelijke epitaxiale groei levert zeer
homogene lagen op met uiterst scherpe overgangen, zoals bijvoorbeeld blijkt uit W.B. de
10 Boer, *Adv. in Rapid Thermal and Integrated Processing* (Kluwer Press, 1996), 443-463, welke publicatie hierin wordt ingevoegd door referentie. Bovendien worden er bij de epitaxiale groei van monokristallijn materiaal bindingen gevormd met de eerste laag. Daardoor is de hechting tussen het eerste en het tweede gebied in de nanodraad uitstekend. Een verder voordeel van de uitvoeringsvorm is dat epitaxiaal groeien een industrieel bekende
15 techniek is.

Het etsen van het halfgeleidersubstraat kan plaatsvinden met uiteenlopende technieken. In een eerste variant wordt gebruik gemaakt van droog etsen of reactive ion etsen. Hierbij worden in het patroonmatig masker geïsoleerde patronen van geringe afmetingen gedefinieerd; bij het etsen wordt vervolgens het gehele substraat verwijderd op de
20 gedeelten onder de geïsoleerde patronen na, die de nanodraden vormen. Het voordeel van deze uitvoeringsvorm is dat de genoemde etstechnieken niet navenant gevoelig zijn voor verschillen tussen de eerste en de tweede laag.

In een tweede variant wordt gebruikt gemaakt van anodisch etsen. Hierbij worden in het patroonmatig masker openingen gedefinieerd. Onder de openingen worden
25 tijdens het etsen poriën gevormd, die door een geschikte instelling van de stroomdichtheid wijder worden, totdat tussen de poriën slechts de nanodraden resteren. Het anodisch etsen is geschikt voor halfgeleidersubstraten waarin het eerste en het tweede materiaal in relatief geringe mate verschillen, bijvoorbeeld in dotering.

In een nog verdere uitvoeringsvorm is een derde laag van een derde materiaal
30 aanwezig in het halfgeleidersubstraat en is de tweede laag ingesloten tussen de eerste laag en de derde laag en een dikte van ten hoogste 100 nm heeft. Ter vorming van de nanodraden wordt door de eerste, de tweede en de derde laag geëtst, zodanig de nanodraden het eerste gebied, het tweede gebied en een derde gebied van het derde materiaal bevatten. Met deze uitvoeringsvorm volgens de uitvinding kunnen functionele draden met een lokaal

gedefinieerde functionaliteit gemaakt worden. Te denken valt aan een nanodraad van Si, waarin lokaal zich een gebied van SiGe bevindt. Door de kleinere bandgap van SiGe ten opzichte van Si zal het SiGe elektronen aantrekken. Het tweede gebied is hierbij in wezen puntvormig. Vanwege de aanwezige kwantisatie kan het functioneren als een quantum dot, waarin op een efficiënte manier met een hoge dichtheid informatie kan worden opgeslagen. Een dergelijke puntvormige bron is voorts zeer geschikt als opto-electronische recombinatiecentrum en als laser voor het uitzenden van straling. In verdere varianten op deze uitvoeringsvorm kunnen gewenste structuren gedefinieerd worden in de draad. Voorbeelden zijn structuren van alternerende doteringen of bandgaps, zoals p-n-p-n-p..... en Si-Ge-Si-Ge-Si-.... en InP-InAs-InP-InAs-.....

Nanodraden met inwendige functionaliteit zijn bekend uit Gudliksen et al, *Nature*, 415 (2002), 617-620. Het is een nadeel van de bekende nanodraden dat de overgangen tussen een eerste gebied van een eerste materiaal en een tweede gebied van een tweede materiaal geleidelijk zijn over een gebied van 15-20 nm. Voor toepassingen bij hoge frequenties of voor emitteren van licht van een bepaalde golflengte is een dergelijke overgang onvoldoende scherp.

Het is zodoende een tweede doel van de uitvinding om een nanodraad met een eerste gebied van een eerste materiaal en een tweede gebied van een tweede materiaal te verschaffen met een overgang tussen het eerste gebied en het tweede gebied die substantieel atomair scherp is.

Het is een derde doel van de uitvinding om een elektronische inrichting van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen met de nanodraden volgens de uitvinding.

Het tweede doel is daardoor bereikt dat de nanodraad verkrijgbaar is met de werkwijze volgens de uitvinding.

Het derde doel is daardoor bereikt dat de nanodraad volgens de uitvinding aanwezig is tussen de eerste en de tweede elektrode.

Deze en andere aspecten van de werkwijze, de nanodraad en de inrichting volgens de uitvinding zullen nader toegelicht worden aan de hand van figuren en uitvoeringsvoorbeelden, waarin:

Fig. 1A-C een eerste uitvoeringsvorm van de werkwijze toont;

Fig. 2A-C een tweede uitvoeringsvorm van de werkwijze toont, en

Fig. 3 een schematische doorsnede van de elektronische inrichting toont.

uitvoeringsvoorbeeld 1

Figuur 1 toont een eerste uitvoeringsvorm van de werkwijze volgens de uitvinding waarbij nanodraden 10 worden gevormd in een halfgeleidersubstraat 5 met droog etsen. Fig. 1A toont het halfgeleidersubstraat 5 met een eerste laag 13 met een n-type dotering, een tweede laag 14 met een p-type dotering en een derde laag 16 met een n-type dotering. Fig. 1B toont het halfgeleidersubstraat 5 met aan het oppervlak 1 een etsmasker 20. Fig. 1C toont de gevormde nanodraden 10 na het droog etsen, voordat deze nanodraden 10 van het substraat 5 losgemaakt zijn. Dat wordt meer in detail hieronder beschreven:

Op de eerste laag 13 met een n-type dotering (doteringsgraad 10^{19} atomen/cm³) wordt epitaxiaal een tweede laag 14 van Si gegroeid met een p-type dotering. De dikte van de tweede laag 14 bedraagt ongeveer 10-30 nm. Hierop wordt epitaxiaal een derde laag 16 Si gegroeid met een n-type dotering. De dikte van de derde laag 16 bedraagt ongeveer 200 nm.

Op het resulterende halfgeleidersubstraat 5, zoals getoond in Fig.1A wordt een fotogevoelige dubbellaag aangebracht, bestaande uit een 400 nm dikke onderlaag van een hardbaked Shipley AZ S1813 met een 80 nm dikke toplaag van een negatieve siliconen bevattende e-beam resist. Deze wordt met behulp van straling (e-beam, 100 kV, $100 \mu\text{C}/\text{cm}^2$) in patroon gebracht, waarbij geïsoleerde gebieden 20 gedefinieerd worden. Deze geïsoleerde gebieden 20 hebben een doorsnede van 50 bij 50 nm en staan op een onderlinge afstand van $0.5 \mu\text{m}$. De toplaag wordt gedurende 20 seconden in xyleen ontwikkeld, gevolgd door het dippen in isopropylalcohol gedurende 30 seconden. Daarna wordt het patroon anisotroop overgebracht van de toplaag naar de onderlaag door een $0,3 \text{ Pa}$ zuurstofplasma ets bij een lage rf vermogensdichtheid van $0,07 \text{ W}/\text{cm}^2$ bij een dc bias van -170 V .

Vervolgens wordt het halfgeleidersubstraat 5 geëtsd in een richting substantieel loodrecht op het oppervlak 1. Dit gebeurt door droog etsen met een inductief gekoppelde plasma (ICP) setup, waarbij alternerend een etsstap en een passivatiestap worden uitgevoerd. De behandeling is rf gestuurd (13,56 MHz). Voor de etsstap wordt als gasmengsel $\text{SF}_6/\text{O}_2/\text{C}_4\text{F}_8$ gebruikt. Standaard is daarbij de SF_6 gasstroom 130 sccm, de O_2 gasstroom 13 sccm en de C_4F_8 gasstroom 40 sccm bij een druk van ongeveer 2 Pa. Voor de passivatiestap wordt C_4F_8 als gas gebruikt bij een gasstroom van 140 sccm. De standaard duur voor een etsstap en een passivatiestap bedraagt 8 seconden.

Het halfgeleidersubstraat 5 wordt geëtsd tot een diepte van ongeveer 1,0 micrometer. Hierna wordt allereerst het etsmasker 20 verwijderd. Vervolgens wordt het

halfgeleidersubstraat 5 in een zuurstofhoudende atmosfeer verhit tot ongeveer 850 °C gedurende 2 uur. Dit heeft het resultaat dat het silicium thermisch oxideert. Daarna wordt het halfgeleidersubstraat 5 geplaatst in een bad met waterstoffluoride in een concentratie van ongeveer 5 mol per liter. Om de samenstelling van het bad constant te houden wordt er stroming in het bad aangelegd. Het resultaat is dat de nanodraden 10 een diameter van 10 nm verkrijgen. Het halfgeleidersubstraat 5 met de nanodraden 10 wordt geplaatst in een bad van ethanol. Dit bad wordt geplaatst in een ultrasoon-apparaat. Met behulp van ultrasoontrillen worden de nanodraden 10 losgeweekt van het substraat 5. Nanodraden 10 met een interne n-p-n junctie zijn op deze wijze verkregen.

De dispersie van de gevormde nanodraden 10 wordt aangebracht op een silicium substraat. Elektrische contacten werden in een dubbellaag van 2nm Ti en 10 nm Au fotolithografisch gedefinieerd met behulp van elektronenstraling (e-beam). Na het aanbrengen van de draden vond verhitting tot 400 °C plaats.

uitvoeringsvoorbeeld 2

Een halfgeleidersubstraat 5 wordt vervaardigd met een eerste laag 13 met p-type dotering en een tweede laag 14 met n-type dotering. Uit dit halfgeleidersubstraat 5 worden nanodraden 10 gevormd door anodisch etsen. Daartoe worden eerst inkepingen 15 aangebracht aan het oppervlak 1 en vervolgens wordt het halfgeleidersubstraat 5 geplaatst in een anodische cel. Het achteroppervlak 2 van het halfgeleidersubstraat 5 bevindt zich daarbij in een kaliumsulfatoplossing, zodat dit achteroppervlak 2 elektrisch geleidend verbonden is met een anode. Het oppervlak 1 van het halfgeleidersubstraat 5 bevindt zich in een waterstoffluoride-oplossing. Ten slotte wordt de nanodraden 10 met ultrasoon trillen van het halfgeleidersubstraat 5 losgemaakt. Er kan anderszins uitgegaan worden van een eerste laag 13 met n-type dotering en een tweede laag 14 met p-type dotering. Daarbij wordt het achteroppervlak 2 van het halfgeleidersubstraat 5 belicht

Fig. 2A toont het halfgeleidersubstraat 5, nadat inkepingen 15 aangebracht zijn aan de voorzijde 1. De inkepingen 15 zijn gevormd vanuit de openingen in een reeds aangebracht patroonmatig etsmasker. Dit etsmasker is als volgt vervaardigd: op het substraat 5 zijn achtereenvolgens een 140 nm dikke laag Si_3N_4 en een fotogevoelige lak aangebracht. Deze lak is plaatselijk belicht via een masker waarin gaatjes met een diameter van 1,5 micrometer aanwezig zijn. De steek (pitch) 12 tussen de openingen is 3,5 micrometer. De steek wordt bepaald als de afstand tussen de harten van twee naburige openingen. Op de belichte plaatsen wordt de lak opgelost en komt het Si_3N_4 bloot te liggen. Het Si_3N_4 wordt

geëts met een bij voorkeur geconcentreerde oplossing van H_3PO_4 . Daarna is de fotolak verwijderd in een zuurstofplasma. Het halfgeleidersubstraat 5 is 8 minuten lang in een 8,8 molair KOH bad van 70 °C geplaatst. Daarbij etst het KOH bad het halfgeleidersubstraat 5 van Si weg langs de snelle (100) kristalrichting, terwijl de langzame (111) kristalrichting nagenoeg onaangetast blijft. Op deze manier zijn aan het oppervlak 1 van het halfgeleidersubstraat 5 met een diameter van 150 mm ruim een miljard piramidevormige spitsvormige inkepingen 15 gedefinieerd van substantieel identieke vorm. Het gevormde patroon is daarbij dat van een hexagonaal rooster.

Fig. 2B toont het halfgeleidersubstraat 5, na enige tijd anodisch etsen. Voor het etsen zijn de temperatuur, de HF-concentratie en de aangelegde potentiaal ingesteld op een zodanige wijze dat de stroomdichtheid groter is dan 90% van de piekstromdichtheid i_{ps} . Dit is bijvoorbeeld het geval in een bad met een HF-concentratie van 3,0 M en temperatuur van 30 °C bij een stroomdichtheid van 130 mA/cm². Gevonden is dat in een eerste fase het etsen isotroop plaatsvindt. Vervolgens gaat het etsen anisotroop verder.

Fig. 2C toont het halfgeleidersubstraat in een verder stadium. Het resultaat is dat nanodraden 10 verkregen zijn na overlap van de poriën. De lengte van de nanodraden 10 kan ingesteld worden op een gewenste lengte tussen 1 en 100 micrometer, en zelfs langer. Het instellen gebeurt door het kiezen van de etstijd. Voor nanodraden 10 met een lengte van 100 µm was bij de genoemde instellingen een etstijd van ongeveer 20 minuten nodig. De nanodraden 10 zijn verkregen met doorsneden van 50 en 80 micrometer en groter. De doorsnede kan verkleind worden door thermische oxidatie van de nanodraden 104 bij ongeveer 800 °C en het wegetsen van het ontstane SiO₂ in een oplossing van HF. Het aantal nanodraden 10 dat op een halfgeleidersubstraat 5 verkregen wordt, bedraagt meer dan 2 miljard.

uitvoeringsvoorbeeld 3

Een oppervlak van een eerste laag 13 met als eerste materiaal Si wordt schoongemaakt bij 900 °C door het oppervlak te dippen in HF. Met Chemical Vapour Deposition van een $H_2/SiH_2Cl_2/GeH_4$ gasmengsel wordt bij 625 °C een tweede laag 14 gegroeid. De tweede laag 14 wordt gegroeid bij atmosferische druk in een standaard commercieel verkrijgbare reactor voor epitaxie. Het tweede materiaal van de tweede laag is Si_xGe_{1-x} , waarbij x afhankelijk is van de onderlinge concentraties van het SiH_2Cl_2 en het GeH_4 in het gasmengsel. Bij voorkeur is $0.4 \leq x \leq 0.6$. De tweede laag wordt aangebracht in een dikte van 30 nm. Vervolgens wordt een derde laag 16 van Si epitaxiaal gegroeid in

dezelfde reactor door het gasmengsel aan te passen tot H_2/SiH_2Cl_2 . De derde laag 16 wordt gegroeid tot een dikte van 400 nm. Op het halfgeleidersubstraat 5 wordt vervolgens een etsmasker 20 aangebracht, zoals aangeven in uitvoeringsvoorbeeld 1. Het resultaat is een nanodraad 10 van Si met een inwendige dot van SiGe.

5

uitvoeringsvoorbeeld 4

Figuur 2 toont een schematische doorsnede van een halfgeleiderelement 100, hetgeen een dunnefilmtransistor is. Op een substraat 110 van polyimide zijn een source electrode 101 en een drain elektrode 102 aangebracht. De elektroden 101,102 bevatten
10 bijvoorbeeld Au en zijn op lithografische wijze gedefinieerd. De elektroden 101,102 zijn onderling gescheiden door een kanaal 105, dat een diëlektrisch materiaal bevat met bij voorkeur een lage diëlektrische constante. Geschikte materialen zijn de vakman bekend, onder meer siliciumdioxide, hydrogen- en methylsilsesquioxane, poreus silica, SiLK, benzocyclobuteen. De keuze van het materiaal is mede afhankelijk van de substraatkeuze.
15 Het oppervlak 111 van de elektroden 101,102 en het kanaal 105 is geplanariseerd, zodat nanodraden 10 zich bevinden op een in wezen vlak oppervlak 111. De nanodraden 10 zijn neergelegd en uitgelijnd door een druppel van een dispersie met de nanodraden aan te brengen op het oppervlak 111, waarbij een spanning werd aangebracht. Door de aangebrachte wisselspanning van meer dan 25 V bij een frequentie van 1 kHz vond uitlijning van de
20 nanodraden 104 plaats. Op de nanodraden 10 is een diëlektrische laag 106 aanwezig, welke de gate elektrode 103 scheidt van de nanodraden 10. Anderzins kan de uitlijning plaats hebben door een matrijs met kanalen aan te brengen op het oppervlak 111 en het geheel in een bad van de dispersie met nanodraden te plaatsen. Door met een drukverschil een stroom te induceren, worden de nanodraden in de kanalen van de matrijs gezogen. Dit leidt tot een
25 positionering van uitgelijnde nanodraden 10.

Zoals de vakman duidelijk zal zijn, bevat een elektronische inrichting bij voorkeur een grote hoeveelheid aan halfgeleiderelementen 100, die volgens een gewenst patroon met elkaar verbonden zijn en een schakeling vormen. Opgemerkt is verder dat in een enkel halfgeleiderelement 100 een groot aantal nanodraden 10 aanwezig kunnen zijn en dat
30 er voor substraat 110, elektroden 101, 102, 103 en diëlektrische lagen 105,106 verscheidene materialen gekozen kunnen worden, zoals aan de vakman op het gebied van dunnefilmtransistoren bekend is.

CONCLUSIES:

28 03. 2002

(72)

1. Werkwijze voor het vervaardigen van nanodraden omvattende de stappen van:

- het aanbrengen van een patroonmatig etsmasker aan een oppervlak van een halfgeleidersubstraat,
- het etsen van het halfgeleidersubstraat onder vorming van nanodraden in een richting
5 substantieel loodrecht op het oppervlak van het halfgeleidersubstraat, en
- het verwijderen van de nanodraden van het halfgeleidersubstraat,
- met het kenmerk dat
- het halfgeleidersubstraat een eerste laag van een eerste materiaal en een tweede laag van een tweede materiaal bevat, welke lagen aan elkaar grenzen; en
- 10 - ter vorming van de nanodraden door de eerste en de tweede laag geëtsd wordt, zodanig de nanodraden een eerste gebied van het eerste materiaal en een tweede gebied van het tweede materiaal bevatten.

15 2. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk het eerste en het tweede materiaal eenzelfde halfgeleider bevatten maar een verschillende dotering.

3. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat de tweede laag gevormd is door epitaxiale groei van het tweede materiaal op de eerste laag.

20 4. Werkwijze volgens Conclusie 3, met het kenmerk dat het eerste materiaal Si bevat en het tweede materiaal gekozen is uit de groep van SiC, SiGe, SiGeC.

5. Werkwijze volgens Conclusie 1, met het kenmerk dat een derde laag van een derde materiaal aanwezig is in het halfgeleidersubstraat,

25 - de tweede laag is ingesloten tussen de eerste laag en de derde laag en een dikte van ten hoogste 100 nm heeft;

- ter vorming van de nanodraden door de eerste, de tweede en de derde laag geëtsd wordt, zodanig de nanodraden het eerste gebied, het tweede gebied en een derde gebied van het derde materiaal bevatten.

6. Werkwijze volgens Conclusie 5, met het kenmerk dat het derde materiaal gelijk is aan het eerste materiaal.
- 5 7. Nanodraad voorzien van een eerste gebied van een eerste materiaal en een tweede gebied van een tweede materiaal, welk eerste en tweede materiaal verschillen en welk eerste en tweede gebied aan elkaar grenzen, welke nanodraad verkrijgbaar is met de methode volgens één van de Conclusies 1-6.
- 10 8. Elektronische inrichting voorzien van een eerste en een tweede elektrode die onderling verbonden zijn door een of meer nanodraden, met het kenmerk dat de nanodraad volgens Conclusie 7 tussen de eerste en de tweede elektrode aanwezig is.

ABSTRACT:

EPO - DG 1
28 03. 2002
(72)

In the method semiconductor substrates are etched to provide nanowires, said substrates comprising a first layer of a first material and a second layer of a second material with a mutual interface, which first and second material are different. They may be different in the doping type. Alternatively, the main constituent of the material may be different, e.g.

5 SiGe or SiC versus Si, or InP versus InAs. In the resulting nanowires the interface is atomically sharp. The electronic devices having nanowires between a first and second electrode therefore have very good electroluminescent and optoelectronic properties.

Fig. 1

NL020287

EPO-DG 1
28 03. 2002
(72)

Fig 1

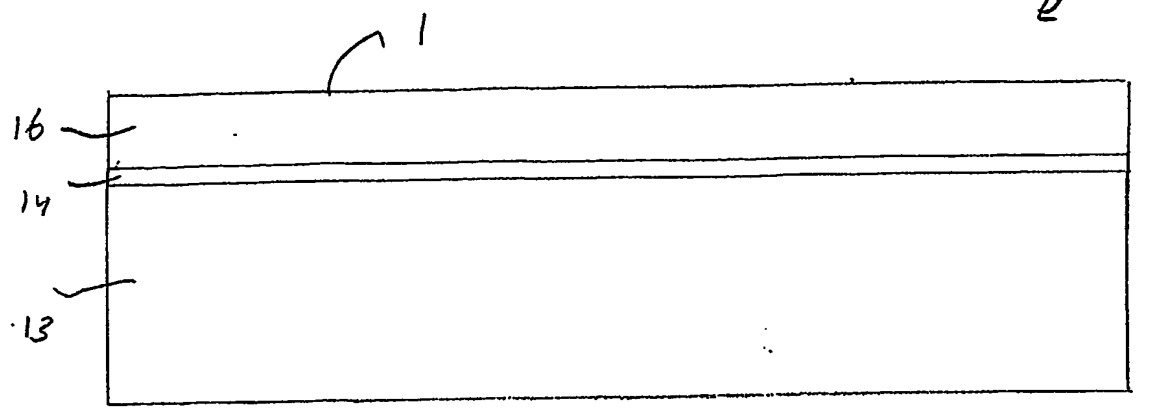


Fig 1A

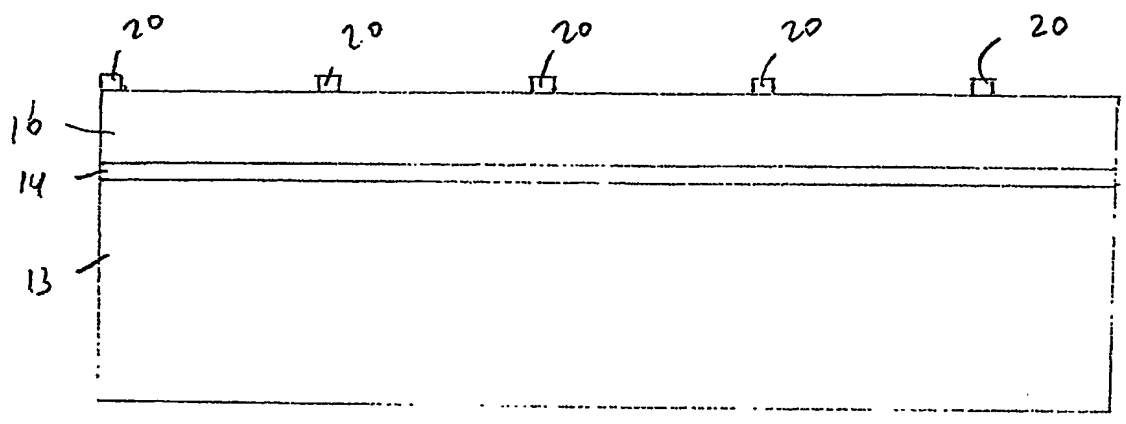


Fig 1B

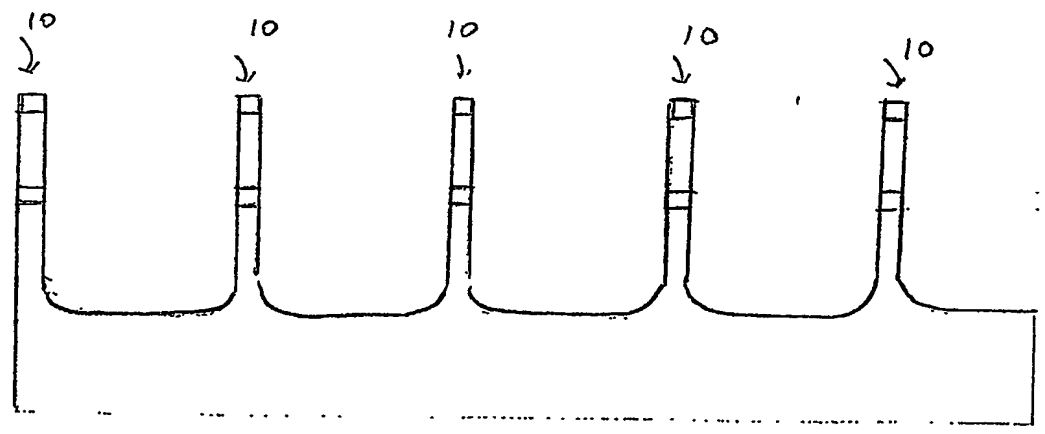


Fig 1C

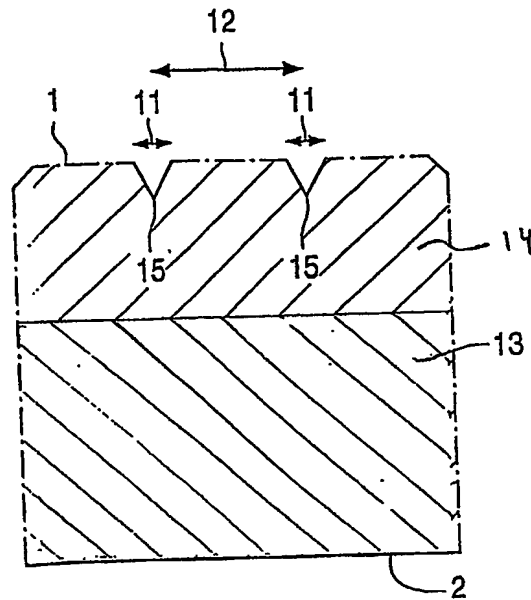


FIG. 2A

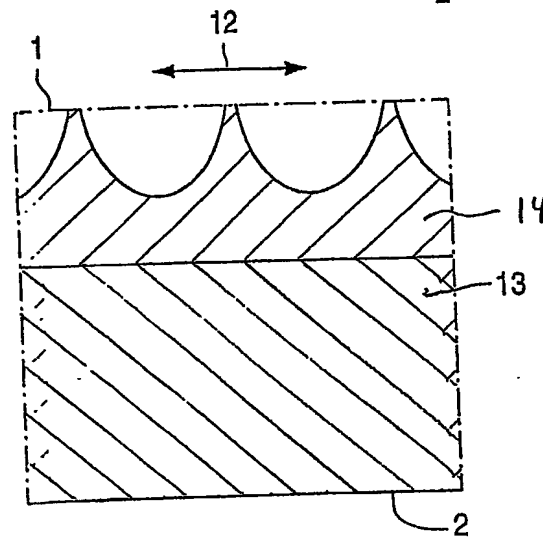


FIG. 2B

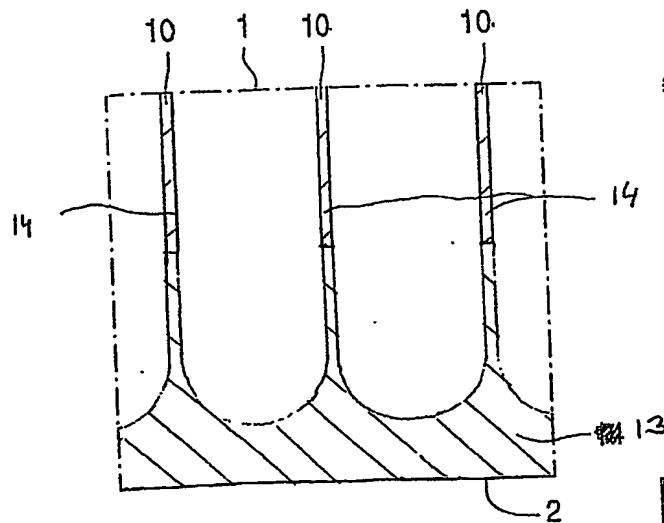


FIG. 2C

● NL020287

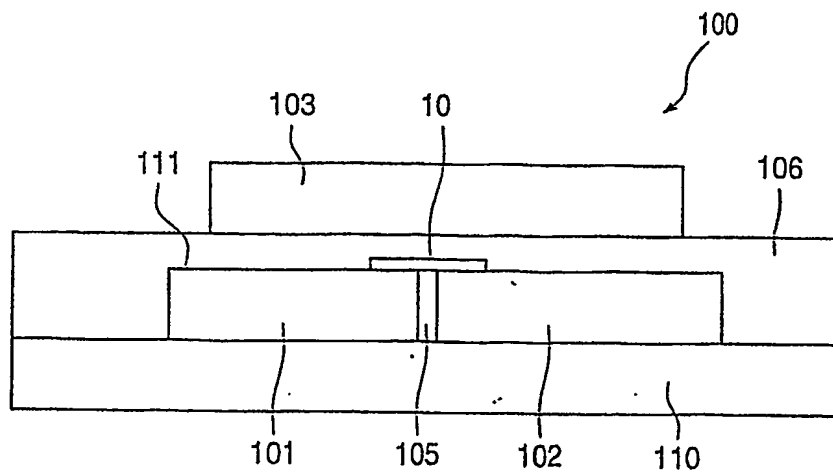


FIG. 3

BEST AVAILABLE COPY